

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

氏名	NGUYEN QUANG DICH (ぬえん くあん でいっち)
学位の種類	博士(工学)
授与番号	甲 第 695 号
授与年月日	2010 年 9 月 25 日
学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
学位論文の題名	A Study on High Performance Axial -Gap Self-Bearing Motor for Practical Applications (アキシャル型セルフベアリングモータの実用化のための 高性能化に関する研究)
審査委員	(主査) 永井 清 (立命館大学理工学部教授) 川村 貞夫 (立命館大学理工学部教授) 上野 哲 (立命館大学理工学部准教授) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授)

< 論文の内容の要旨 >

(和文)

アキシャル型セルフベアリングモータは、ディスクモータとスラスト磁気軸受を電氣的に組み合わせたものであり、回転制御とアキシャル方向の浮上制御を同時に行うことができる。この論文では、非突極型および突極型アキシャル型セルフベアリングモータに対して、速度センサを用いた、あるいは速度センサを用いない制御手法が提案され、実装される。

最初に、2 自由度の突極型および非突極型アキシャル型セルフベアリングモータに対してエンコーダを用いたベクトル制御法が提案される。アキシャル型セルフベアリングモータの特性に基づいた制御手法を用いることで、アキシャル変位と回転速度の両方に高い制御性能が得られることが示される。そして 2 種類のセルフベアリングモータの違いを明らかにするため、突極型と非突極型モータの性能が比較される。

エンコーダの使用は、コストとサイズの増加を引き起こし、過酷な環境での信頼性の低下をもたらすなどの欠点がある。この問題の解決のため、センサレス制御法を提案する。センサレス制御は、ルーエンバーガのオブザーバ、あるいはスライディングモード

オブザーバを用いて、逆起電力を推定することによって行う。ルーエンバーガのオブザーバは、簡単でありノイズの発生が少ないなどの利点があるが、高い動特性を得ることは難しい。これに対し、スライディングモードオブザーバは、ノイズが大きくなるが、高い動特性を得ることが可能となる。

次にハイブリッド磁気軸受をラジアル軸受に用いた6自由度制御型アキシャル型セルフベアリングモータを製作し、高速回転性能の検証を行った。実験では、最大約11,000rpmまで安定に回転し、優れた高速回転性能を持つことが示される。

最後にアキシャル型セルフベアリングモータを用いた磁気浮上真空ポンプを提案する。このポンプは、極低温環境下において長期間連続して使用することを目的に、アキシャル型セルフベアリングモータと磁気軸受を用いてインペラを支持、駆動する物である。

(English)

Axial-Gap Self-Bearing Motor (AGBM) is an electrical combination of an axial flux motor and a thrust magnetic bearing. Hence, it can simultaneously provide rotation and axial levitation. In this study, modern control structure is proposed and implemented for the salient and non-salient AGBM drives with and without speed sensor.

Firstly, the modern vector control is developed for the 2-DOF salient and non-salient AGBMs using encoder. Control method design bases on their intrinsic characteristics to give the highest quality of axial displacement and speed. With this success, the AGBM drive is closer to the state-of-the-art AC motor drives. To understand the difference between two kinds of the AGBM, performance comparison is also given.

The use of the encoder causes several disadvantages such as increasing cost and size and reducing reliability in harsh environment. Therefore, in the second step, sensorless control strategies are proposed to solve these problems. The sensorless approach is based on the estimation of the back-EMF through Luenberger observer (LO) and sliding mode observer (SMO). The utilization of the LO has some advantages such as simplicity and less generated noise, however it has limitation in high dynamic response; while the use of the SMO can support high dynamic response but generates more noise.

Thirdly, a 6-DOF AGBM is constructed using a hybrid magnetic bearing system to confirm that the complete non-contact levitation can be realized by a simple construction and control system. The experimental results reveal that the performance of the AGBM drive is significantly improved. The AGBM can reach maximum speed of nearly 11000rpm.

Finally, a study of the maglev vacuum pump using the AGBM is presented. The pump is developed to work at extremely low temperature for years without any interruption on a maintaining process of the bearing system thanks to the non-contact

capability of the AGBM.

< 論文審査の結果の要旨 >

本論文は、以下の諸点について評価できる。

- 1 . アキシタル型セルフベアリングモータにベクトル制御手法を適用し、回転制御電流と浮上制御電流の連成を無くし、速度制御および位置制御の応答性を改善した。
- 2 . 突極型永久磁石ロータを提案し、同じサイズとエアギャップを持つ非突極型永久磁石ロータと比較して、回転トルク、アキシタル方向力、モータ効率が改善されることを実証した。
- 3 . アキシタル型セルフベアリングモータに対する速度センサレス制御手法を開発し、速度センサを用いずにベクトル制御が実現できることを実証した。
- 4 . 永久磁石ロータの高速回転を実現し、高速回転が必要な応用に対して永久磁石ロータが適用可能であることを示した。

本論文の審査に関して、2010 年 7 月 26 日 (月) 15 時 00 分 ~ 16 時 00 分 イーストウイング 4 階機械システム系演習室において公聴会を開催し、申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者 NGUYEN QUANG DICH に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、最高回転数が制限された理由、極低温環境下用真空ポンプの構造、回転トルクとアキシタル方向力の干渉などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても申請者の回答は適切なものであった。よって、以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、本論文は博士の学位に値する論文であると判断した。